

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-253872

(43) 公開日 平成10年(1998) 9月25日

(51) Int.Cl.⁶
G 0 2 B 7/198
G 0 3 F 7/20
H 0 1 L 21/027

識別記号

5 2 1

F I

G 0 2 B 7/18 C
G 0 3 F 7/20 5 2 1
G 0 2 B 7/18 B
H 0 1 L 21/30 5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数 8 F D (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願平9-76709

(22) 出願日 平成9年(1997) 3月13日

(71) 出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72) 発明者 池田 正俊

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株

式会社ニコン内

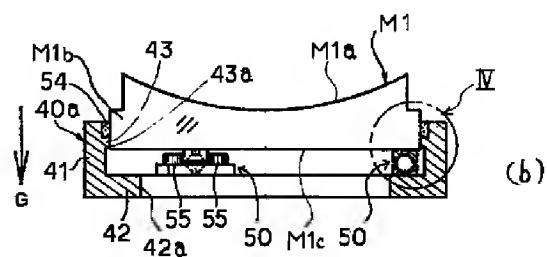
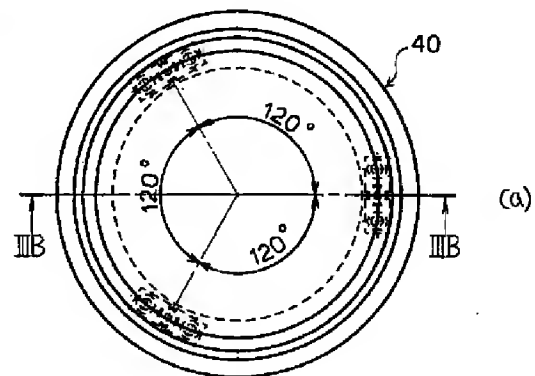
(74) 代理人 弁理士 井上 義雄

(54) 【発明の名称】 反射光学部材の保持装置及び露光装置

(57) 【要約】

【課題】 反射面の光学特性を最適とするように反射鏡を支持する保持装置を提供する。

【解決手段】 支持部材50、150、250の支持点は、凹面鏡M1の凹曲面M1aの中心から凹面鏡M1の外周の少なくとも0.6倍の距離離れた円周上の位置にあるので、凹面鏡M1のたわみを幾何学上小さく抑えることができ、それにより例えば凹面鏡M1の加工時における修正量を小さくすることができる。一方かかる支持点は、円周上に等間隔に配置されているので、凹面鏡M1のたわみを点対称なものとなることができ、それによりたわみの再現性を向上させることができる。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 反射光学部材を保持する保持装置であって、

前記反射光学部材の反射面に対する裏面を少なくとも3点で支持する支持機構を有し、前記支持機構の支持点は、前記反射面の中心から前記反射光学部材の外周の少なくとも0.6倍の距離離れた円周上の位置にあり、かつ前記円周上に等間隔に配置されていることを特徴とする保持装置。

【請求項2】 前記支持機構は、支持台と、前記支持台に対して前記反射光学部材を支持する支持部材を含み、前記支持部材の前記支持台側と前記反射光学部材側との少なくとも一方の端部が非固定であることを特徴とする請求項1記載の保持装置。

【請求項3】 前記反射光学部材の外周部を、前記外周部と前記支持台との間に充填剤を充填し保持することを特徴とする請求項1又は2記載の保持装置。

【請求項4】 反射光学部材を支持する支持台を有する保持装置であって、前記反射光学部材の裏面を少なくとも3点の支持点で支持する支持部材と、前記支持点とは異なる点で、前記反射光学部材の裏面を押圧する押圧機構と、該押圧機構によって前記反射光学部材の裏面を押圧する押圧力を調整する調整機構とを備えたことを特徴とする保持装置。

【請求項5】 前記支持点と前記押圧機構で押圧する押圧点とは、前記反射部材の中心から等距離離れた円周上にあり、かつ前記支持点は、前記円周上に等間隔に配置されていることを特徴とする請求項4記載の保持装置。

【請求項6】 前記押圧機構は、前記支持台に取り付けられた支点と、前記支点に回転可能に取り付けられた伝達アームと、前記伝達アームの一端が前記押圧点を押圧する押圧部材とを含み、前記押圧部材は、前記押圧点側と伝達アーム側とに同極を対向して配置された磁石で構成され、前記調整機構は、前記伝達アームの他端に取り付けられた重りを含むことを特徴とする請求項4及び5記載の保持装置。

【請求項7】 マスクに形成されたパターン像を感光基板上に露光する露光装置であって、反射光学部材を含み、前記パターン像を感光基板上に投影する投影光学系と、

前記反射光学部材の反射面に対する裏面を少なくとも3点で支持する支持機構を有し、前記支持機構の支持点は、前記反射面の中心から前記反射光学部材の外周の少なくとも0.6倍の距離離れた円周上の位置にあり、かつ前記円周上に等間隔に配置されていることを特徴とする露光装置。

【請求項8】 マスクに形成されたパターン像を感光基板上に露光する露光装置であって、

反射光学部材を含み、前記パターン像を感光基板上に投影する投影光学系と、

前記反射光学部材の裏面を少なくとも3点の支持点で支持する支持部材と、

前記支持点とは異なる点で、前記反射光学部材の裏面を押圧する押圧機構と、

該押圧機構によって前記反射光学部材の裏面を押圧する押圧力を調整する調整機構とを備えたことを特徴とする露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、反射光学部材の保持装置に関し、例えば半導体素子、撮像素子（CCD等）、液晶表示素子、又は薄膜磁気ヘッド等の製造工程内のフォトリソグラフィ工程内でマスクパターンを感光性の基板上に露光する露光装置に用いるような精度の高い反射光学部材を支持する保持装置に関する。

【0002】

【従来の技術】例えば、半導体素子等を製造するためのフォトリソグラフィ工程（マスクパターンのレジスト像を基板上に形成する工程）では、マスクとしてのレチクルのパターンを投影光学系を介して、フォトリソレジストが塗布された基板（又はウエハ等）上に露光する投影露光装置（ステッパー等）が使用されている。

【0003】一般的な投影露光装置において、レチクルに描画されたパターンは、投影光学系により1/5～1/4に縮小されて、基板上に露光転写される。ここで、半導体素子等は、それを組み込んだ装置のコンパクト化を図り消費電力を低減する等のため、極力小さなものとするのが望まれている。しかるに、半導体素子等をより小さなものとするためには、基板に露光転写されるパターンをより微細なものとする必要がある。特に近年においてはULSIの集積度が更に高まり、例えば0.35ミクロン以下の線幅を有するパターンを基板に形成することが要求されている。

【0004】従来の投影露光装置では、露光光としてg線（波長：436nm）、i線（波長：365nm）等が使用されているが、上述したように線幅の狭いパターンを基板に形成すべく最近では、KrFエキシマレーザ光（波長：248nm）やArFエキシマレーザ光（波長：193nm）等が用いられつつある。ところで、これらの波長帯域の露光光を用いて露光処理を行う場合に、十分な縮小率が得られ、また光学系自体を小型化することができるという利点があることから、投影光学系として、反射鏡を用いた反射屈折光学系が用いられることが多い。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】しかるに、上述したような線幅の狭いパターンを基板に描画するためには、露光光の種類を変えるのみではならず、反射屈折光学系

の、例えば形状等にかかる精度をも向上させ、その光学特性を理想値に近づける必要がある。一般的に、このような反射屈折光学系は複数の光学素子から形成されているため、反射屈折光学系全体の精度を向上させるには、かかる光学素子の精度を個々に向上させなくてはならない。ここで、反射屈折光学系の一部を構成する反射光学部材である凹面鏡は、単体では極めて精度の高いものではあるが、光学系に対する要求精度が極めて高くなると、凹面鏡の支持の態様により反射面が変形しその光学性能が低下するという問題がある。この問題を以下に説明する。

【0006】凹面鏡は、ガラス、セラミック又はゼロデュア(zerodur、登録商標)に所定の形状の凹曲面を形成し、その凹曲面にアルミコート等を蒸着することによって作られる。ガラス等は本来固いものであるから、通常の光学機器においては、支持態様により反射鏡が変形しても、それにより低下する光学特性の影響は無視できる。

【0007】ところが、上述したように近年の投影露光装置においては、極めて高精度の反射屈折光学系が必要となるため、反射鏡の自重によるわずかなたわみさえ問題となる場合がある。従って、たとえ凹曲面の加工を精度良く行っても、加工時と組込時の支持態様が異なると、凹曲面が変形し使用時に所望の光学特性が得られない凹面鏡となってしまう場合がある。そこで、高精度の凹面鏡を製造する場合には、まず実際に支持される状態で素材を支持することによって、加工する面を自重で撓ませながら凹曲面を形成し、その後蒸着を行うという手法が取られることが多い。

【0008】かかる手法により製造された凹面鏡は、加工時と組込時とで支持態様が一致する場合に、最も高い光学性能が得られることとなるが、支持態様を完全に一致させることは困難である。従って、凹面鏡の加工時と組込時の支持状態を極力同様にすることにより、両時の変形を近づけて所望の光学性能を得るようにしている。以下、凹面鏡の凹曲面の加工時と組込時の変形の類似度をもって、たわみの再現性という。

【0009】図10は、凹面鏡を従来技術による支持棒により支持した状態を示す図であり、図10(a)その上面図であり、図10(b)は、図10(a)の凹面鏡及び支持棒をXB-XB線に沿って切断して得られた図である。なお加工時においては、凹面鏡M1は、露光装置内の支持棒540と同一形状を有する支持棒に支持されて凹曲面を加工されるものとする。

【0010】図10に示すように、円筒状の支持棒540は、小内径部540aと大内径部540bとを同軸に有し、更に大内径部540bの上端に周溝540cを形成している。凹面鏡M1の円周外径は、小内径部540aの内径より大きく、大内径部540bの内径と等しくなっている。従って、支持棒540の大内径部540b

に凹面鏡M1を挿入すると、凹面鏡M1の裏面外周部は小内径部540aの上面で支持されることとなる。なお、凹面鏡M1は、周溝540cに充填されたシリコン系接着剤54により支持棒540に固定される。

【0011】ここで、設計上凹面鏡M1の裏面外周部は、小内径部540aの上面に全周で接触するはずであるが、実際的には凹面鏡M1と支持棒540の当たり面の平面度、平行度等を完全なものとするとはできないから、凹面鏡M1は支持棒540に2乃至3点で支持される、いわゆる片当たり状態となる。

【0012】かかる状態においては、凹面鏡M1の裏面外周部が支持される点はいかなる位置になるか、設計上予測がつかないため、凹曲面のたわみの再現性が得られない。すなわち、凹面鏡M1単体でその凹曲面の加工をいくら精度良く行っても、支持棒540に支持された状態では、支持される点に応じて凹曲面は様々に変形し、よって所望の光学特性が得られない恐れがある。なお、ボルト等により凹面鏡M1を支持棒540に取り付けるようにすれば、両者の密着度は高まるが、ボルトの締結力によりかえって凹曲面がひずんでしまう恐れがある。

【0013】図11は、凹面鏡を、図10に示すものと異なる形状を有する従来技術の支持棒により支持した状態を示す図であり、図11(a)はその上面図であり、図11(b)は、図11(a)の凹面鏡及びかかる支持棒をXI-B-XI-B線に沿って切断して得られた図である。なお加工時においては、凹面鏡M1は、露光装置内の支持棒640と同一形状を有する支持棒に支持されて凹曲面を加工されるものとする。

【0014】図10の従来技術に比較すると、図11に示す従来技術においては、円筒状の支持棒640の内径が全長にわたって一様となっていて、その中央部において内方に突出する3つの突起640aが等角度間隔に配置されている点が異なっている。かかる突起640aにより、凹面鏡M1の裏面外周部が支持されるようになっている。

【0015】図11の従来技術によれば、凹面鏡M1の裏面外周部がほぼ等間隔で3点で支持されることとなり、図11の支持棒640で支持される場合よりも、凹曲面のたわみの再現性は向上している。しかしながら、突起640aの狭い上面内においても、凹面鏡M1の裏面との間で片当たりが生じる恐れがあり、かかる片当りはたわみの再現性を低下させ、高精度な凹面鏡を形成する上で問題となる。

【0016】そこで本願発明はかかる問題に鑑み、反射面の光学特性を最適とするように反射鏡を支持する保持装置を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】本願発明の反射光学部材を保持する保持装置は、反射光学部材(M1)の反射面(M1a)に対する裏面(M1c)を少なくとも3点で

支持する支持機構(50, 150, 250)を有し、支持機構(50, 150, 250)の支持点は、反射面(M1a)の中心から反射光学部材(M1)の外周の少なくとも0.6倍の距離離れた円周上の位置にあり、かつ円周上に等間隔に配置されていることを特徴とする。

【0018】本願発明の反射光学部材を保持する保持装置(40)によれば、支持機構(50, 150, 250)の支持点は、反射面(M1a)の中心から反射光学部材(M1)の外周の少なくとも0.6倍の距離離れた円周上の位置にあるので、反射光学部材(M1)のたわみを幾何学上小さく抑えることができ、それにより例えば反射光学部材(M1)の加工時における修正量を小さくすることができる。一方かかる支持点は、円周上に等間隔に配置されているので、反射光学部材(M1)のたわみを点対称なものとし、それによりたわみの非対称性(アス成分)を減らし、均一性を向上させることができる。

【0019】本願発明の反射光学部材を支持する支持台を有する保持装置(40)は、反射光学部材(M1)の裏面(M1c)を少なくとも3点の支持点で支持する支持部材(50)と、支持点とは異なる点で、反射光学部材(M1)の裏面(M1c)を押圧する押圧機構(156, 256)と、押圧機構(156, 256)によって反射光学部材(M1)の裏面(M1c)を押圧する押圧力を調整する調整機構(150, 250)とを備えたことを特徴とする。

【0020】本願発明の反射光学部材を支持する支持台を有する保持装置(40)によれば、物理的に最も安定した支持が可能な3点支持により反射光学部材(M1)の裏面(M1c)を例えば固定的に支持し、かつその他の支持点を非固定とすることにより、反射光学部材を安定した状態で指示することができる。また、かかる非固定の支持点の押圧力を調整機構(150, 250)により調整することにより、固定支持点と同様の押圧力とすることができ、それにより各支持点における反射光学部材のたわみを同量とすることができ、もってたわみをより小さく押さえることができる。

【0021】本願発明のマスクに形成されたパターンの像を感光基板上に露光する露光装置(10)は、反射光学部材(M1)を含み、パターン像を感光基板(W)上に投影する投影光学系(PL)と、反射光学部材(M1)の反射面(M1a)に対する裏面(M1c)を少なくとも3点で支持する支持機構(50, 150, 250)を有し、支持機構(50, 150, 250)の支持点は、反射面(M1a)の中心から反射光学部材(M1)の外周の少なくとも0.6倍の距離離れた円周上の位置にあり、かつ円周上に等間隔に配置されていることを特徴とする。

【0022】本願発明のマスクに形成されたパターン

の像を感光基板上に露光する露光装置(10)によれば、反射光学部材(M1)の裏面(M1c)を押圧する押圧力を調整する調整機構(150, 250)とを備えたことを特徴とする。

反射光学部材(M1)の支持機構(50, 150, 250)の支持点は、反射面(M1a)の中心から反射光学部材(M1)の外周の少なくとも0.6倍の距離離れた円周上の位置にあるので、反射光学部材(M1)のたわみを幾何学上小さく抑えることができ、それにより例えば反射光学部材の加工時における修正量を小さくすることができる。一方かかる支持点は、円周上に等間隔に配置されているので、反射光学部材のたわみを点対称なものとし、それによりたわみの非対称性(アス成分)を減らし、均一性を向上させることができる。

【0023】本願発明のマスクに形成されたパターン

の像を感光基板上に露光する露光装置(10)によれば、物理的に最も安定した支持が可能な3点支持により反射光学部材(M1)の裏面(M1c)を例えば固定的に支持し、かつその他の支持点を非固定とすることにより、反射光学部材を安定した状態で指示することができる。また、かかる非固定の支持点の押圧力を調整機構(150, 250)により調整することにより、固定支持点と同様の押圧力とすることができ、それにより各支持点における反射光学部材のたわみを同量とすることができ、もってたわみをより小さく押さえることができる。

【0025】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態を図面を参照して説明する。図1は、本発明の実施の形態に係る投影露光装置10の概略構成を示す図である。この投影露光装置10は、いわゆるステップ・アンド・スキャン方式の走査露光型の投影露光装置である。

【0026】この投影露光装置10は、水平面内をY軸方向(図1における紙面左右方向)に移動可能なYステージ12と、このYステージ12上をY軸に直交するX軸方向(図1における紙面垂直方向)に移動可能なXステージ14と、このXステージ14の上方に配置された反射屈折光学系(以下、「 π 型の光学系」と称する)から成る両側テレセントリックな投影光学系PLと、この投影光学系PLの上方に配置され、マスクとしてのレチクルRを保持してY軸方向に移動可能なレチクルステージRSTと、このレチクルステージRSTの上方に配置された照明光学系16と、露光光源18とを備えている。これらの構成要素の内、露光光源18を除く要素

は、温度、湿度等が高精度に維持されたチャンバ20内に収納されている。

【0027】露光源18としては、本実施形態では、波長193nmのレーザ光を発するArFエキシマレーザが使用されている。一般的に微細な回路パターン（例えば、サブミクロンオーダーの線幅パターン）を露光するためには、露光光の波長を短くするか、投影光学系の開口数（N.A.）を大きくする等の手法が考えられる。しかるに、開口数を大きくすると焦点深度が浅くなるので、開口数を必要以上に大きくすることは得策ではない。そこで、微細な回路パターンを露光する現実的な手法として、波長の短いArFエキシマレーザ光を採用しているのである。露光源18からのレーザ光は、ミラーM0を介して照明光学系16に入射する。

【0028】照明光学系16は、リレーレンズ、フライアイレンズ、コンデンサーレンズ等の各種レンズ系や、開口絞り及びレチクルRのパターン面と共役な位置に配置されたブラインド等（いずれも図示せず）を含んで構成されている。

【0029】レチクルステージRSTは、X軸方向の微動およびZ軸周りの微小回転が可能とされとともに、不図示の駆動系によってY軸方向に駆動されるようになっている。このレチクルステージRSTは、走査露光時には不図示の制御装置によってYステージ12と反対の方向へ投影光学系PLの縮小倍率に応じて定まる速度比の速度で同期しつつ駆動される。

【0030】投影光学系PLとしては、反射光学部材を3つ備えた3回反射の反射屈折光学系から成る所定の縮小倍率 $1/n$ （ n は正の整数）のものが用いられているため、ArFエキシマレーザ光を露光光として用いる場合であっても、投影光学系PL自体をそれほど大型化することなく、十分な解像度で微細な回路パターンを露光することが可能となる。この投影光学系PLの構成については後述する。

【0031】Xステージ14上には、不図示のウェハホルダを介して感光基板としてのウェハWが載置されており、このウェハWの表面には感光材として、例えば高感度レジストである化学増幅型レジストが塗布されている。Xステージ14、Yステージ12の位置は、不図示のレーザ干渉計システムによって計測されており、このレーザ干渉計システムの計測値が前述した制御装置によってモニタされている。

【0032】上述のようにして構成された投影露光装置10によると、ウェハWとレチクルRのアライメントが行われた状態で、露光源18から露光光が照射されると、この露光光が照明光学系16を通る際に、照明光学系16内のブラインドによって断面形状が制限される。そして、この制限された露光光は、リレーレンズ、コンデンサーレンズ等を介して回路パターンが描画されたレチクルR上のスリット状の照明領域31を均一な照度で

照明する。次に、このレチクルRを透過した露光光は、投影光学系PLに入射され、これによってレチクルRの回略パターンが $1/n$ 倍に縮小されてウェハW上に投影露光される。この露光の際には、レチクルRとウェハWとがY軸方向に沿って互いに逆向きに所定の速度比で同期走査されることにより、レチクルRのパターン全体がウェハW上の1ショット領域に転写される。このような走査露光は、ウェハWを順次ステップ移動しながら行われ、レチクルRのパターンがウェハW上の全ショット領域に転写されることになる。

【0033】図2は、図1の投影光学系PLを拡大して示す図である。この図2に示されるように、投影光学系PLは、正面から見たときに略πの字状でレチクル対向面部とウェハ対向面部とが開口したレンズ鏡筒22と、全体的には縮小光学系を構成する3つのレンズ群GL1～GL3と3つの反射光学部材（凹面鏡と平面鏡）M1～M3を備えている。これをさらに詳述すると、第1レンズ群GL1は、レチクルRの下方にZ軸方向（図中垂直方向）に沿って配置された共通のZ軸方向の光軸を有する複数の凹レンズ、凸レンズ等によって構成されている。また、第3レンズ群GL3は、ウェハWの上方にZ軸方向に沿って配置された共通のZ軸方向の光軸を有する複数の凹レンズ、凸レンズによって構成されている。

【0034】上述した第1レンズ群GL1の下方には、本発明に係る反射光学部材の保持装置40により保持された凹面鏡M1が配置されている。また、第1レンズ群GL1の上方で当該投影光学系PLの瞳面の位置には、プリズム鏡M2が配置されている。また、第3のレンズ群GL3の上方には、比較的大型の平面鏡M3が配置され、両鏡M2、M3との間にZ軸と直交する方向に光軸を有する複数のレンズから成る第2レンズ群GL2が配置されている。平面鏡M3は、ここではハーフミラーではなく露光光がほぼ100パーセント近く反射される一般的な反射鏡である。

【0035】更に、本実施形態の投影光学系PLにおいて、レンズ鏡筒22のレチクル対向面部は、第1レンズ群GL1の光軸近傍まで延ばされ、この部分によって第1レンズ群の図2における右半分に対する上方からの光の入射を制限する第1の遮光板22Aが形成されている。同様に、レンズ鏡筒22の第1レンズ群GL1と第2レンズ群GL2との境界部分は、第2レンズ群GL2の光軸近傍まで延ばされ、この部分によって第1レンズ群GL1側からの余計な反射光や乱反射光が第2レンズ群GL2へ入射されるのを防止する第2の遮光板22Bが形成されている。

【0036】上記投影光学系PLによれば、図2に示されるように、レチクルRを透過した露光光ELは、投影光学系PL内で第1レンズ群GL1の左半部を透過して凹面鏡M1に至り、ここで入射方向と光軸AXに関して対称な方向に反射され、第1レンズ群GL1の右半部を

透過してプリズム鏡M2に至る。次に、この露光光ELは、プリズム鏡M2で反射されて第2レンズ群GL2の光軸に平行な方向に向けて方向変換され、第2レンズ群GL2の上半部を透過して平面鏡M3に至る。そして、この露光光は平面鏡M3で反射されて、第3レンズ群GL3の光軸に平行な方向に方向変換され、第3レンズ群GL3の左半部を透過してウエハW上に至る。

【0037】本実施の形態に係る投影露光装置10は、上述のように構成され、その投影光学系PLを構成する π 型の光学系（反射屈折光学系）の反射光学部材としての凹面鏡M1は、以下に説明する反射光学部材の保持装置40により保持されている。

【0038】図3は、凹面鏡を、第1の実施の形態にかかる保持装置により支持した状態を示す図であり、図3(a)はその上面図であり、図3(b)は、図3(a)の凹面鏡及びかかる保持装置をIIIB-IIIB線に沿って切断して得られた図である。なお、図3(b)中矢印Gにより示す方向が重力方向である。

【0039】保持装置40は、支持台40aと、支持機構としての3つの支持部材50とから構成されている。図3に示すように、支持台40aは、重力方向に延びる軸線を有する円筒部41と、円筒部41の下端に設けられ重力方向に直交して延びる下方フランジ部42と、円筒部41の上端近傍に形成された上方フランジ部43とを有している。下方フランジ部42は円形開口42aを有し、上方フランジ部43も円形開口43aを有する。

【0040】上面に凹曲反射面M1aを同軸に形成した凹面鏡M1は、その中央部と等しい厚さのフランジ部M1bを外周全周にわたって形成している。支持部材50は、下方フランジ部42の上面であって反射面M1aの外縁部下方において、凹面鏡M1の軸線から等距離でかつ等角度間隔即ち120度離れて配置されている。フランジ部M1bの外周を、支持台40aの円形開口43aの内周に対向させ、かつ凹面鏡M1の裏面M1cを支持部材50によって支持されることにより、凹面鏡M1は支持台40aに取り付けられている。

【0041】図4は、図3の矢印IVに示す部分を拡大して示した図である。支持部材50は、直方体形状の下方部51と、円筒形状の上方部52と、下方部51と上方部52との間に配置された球53とを有している。両端近傍を2本のボルト55（図3(b)）でフランジ部42に固定された下方部51は、その上面に円錐面51aを形成している。一方、凹面鏡M1の裏面M1cに接触する上方部52も、その下面に円錐部52aを形成している。上方部52は、下方部51から球53を介する力のみで支持されているため、下方部51に対して一定範囲内で傾き自在となっている。更に両円錐面51a、52aの中央には、切削加工上の逃げである孔51b、52bがそれぞれ形成されている。なお、上方部52の上縁52cには、凹面鏡M1に対する相対移動を助ける

ように面取り（ラウンド付け）が施されている。

【0042】再び図3に戻り、支持台40aにおける上方フランジ部43と円筒部41とで囲われる空間は、凹面鏡M1の中心厚の厚さ方向の中央に位置しており、かかる空間に充填剤としてのシリコン系接着剤54を充填することにより、凹面鏡M1は支持台40aに固定される。

【0043】凹面鏡M1の加工時には、ゼロデュア等の素材に凹曲面を所定の形状に形成した後、保持装置40と同一寸法・形状のジグ（不図示）にて支持する。これにより、素材は自重に基づき、支持力を受けた3点のみが相対的に上方に微量だけ変位する、いわゆる三つ葉形状に撓むこととなる。このたわみを計測し、目的の凹曲面になるように修正研磨する。その後、凹曲面にアルミコート蒸着を施すことによって反射面M1aを形成するのである。かかる工程を経て形成された反射面M1aは、凹面鏡M1がジグから取り出された自由状態では、支持力を受けた3点付近が大きく修正研磨されているため、最適な凹曲面とはなっていない。しかしながら、かかる凹面鏡M1を、3つの支持点を一致させながら投影露光装置の保持装置40に組み込むことにより、凹面鏡M1の自重により反射面M1aがたわみ、最適な凹曲面に近づくようになっている。

【0044】更に、凹面鏡M1の裏面M1cは本来平面であるが、支持部材50に支持されると自重で微量だけ変形し、曲率半径の大きな曲面となる。従って、支持部材50が支持台40aに固定され不動となっていれば、支持部材50の上方部52の頂面において片当たりが生ずる恐れがある。そこで、本実施の形態によれば、上方部52を下方部51に対して傾き自在な構成とすることにより、凹面鏡の裏面M1cが変形しても、それに応じて上方部52を傾くようにし、それにより片当たりが生じないようにしている。

【0045】一方、凹面鏡M1と支持部材50とは、チャンバ内の雰囲気温度が変化すると、凹面鏡M1と支持台40aとの素材の熱膨張率の差により水平（XY）方向に相対移動する恐れがある。かかる場合に、支持部材50の上方部52の上縁52c（図4）が、加工されたままの尖ったエッジ形状であるとする、凹面鏡M1の裏面M1cの表面に食い込んで凹面鏡M1の相対移動を制限し、それにより凹面鏡M1の変形を招く恐れがある。そこで上方部52の上縁52cに面取りを施すことにより、温度変化が生じた場合でも凹面鏡M1と上方部52との相対移動をスムーズに行わせるようにし、凹面鏡M1の不慮の変形を防止するようにしている。

【0046】また、シリコン系接着剤54は、硬化する際に収縮力が小さいという特性を有するものの、その際わずかではあるが被接着物に引っ張り力を与える。しかるに、凹面鏡M1は、中央部と同一厚さのフランジ部M1bを有し、フランジ部M1bの幅方向の中間をシリコ

ン系接着剤54で固定するようにしたので、凹面鏡M1の上面と下面の応力もほぼ等しくなり、反射面M1aに不均一な変形が生ずることを防止できる。

【0047】ところで、図3の実施の形態によれば、加工時と組込時の凹面鏡M1のたわみの再現性は確保されるものの、凹面鏡M1が支持されるのはその外周近傍であることから、3点支持されたときの凹曲面の中央部のたわみが大きくなり、従って修正研磨する際の加工量が大きくなってスループットが低下する恐れがある。以下に述べる第2の実施の形態によれば、このような不具合を解決することができる。

【0048】図5は、凹面鏡を、第2の実施の形態にかかる保持装置により支持した状態を示す図であり、図5(a)はその上面図であり、図5(b)は、図5(a)の凹面鏡及びかかる保持装置をVB-VB線に沿って切断して得られた図である。なお、第1の実施の形態と同一な部分には同一符号を付し、詳細な説明を省略する。

【0049】図5に示す第2の実施の形態が、第1の実施の形態と大きく異なる点は、支持部材50が凹面鏡M1の裏面M1cを支持する位置にある。図5に示すように、支持台140aの下方フランジ部142はより内方へと延長され、上方フランジ部142の上面に配置された支持部材50は、光軸AXから距離lだけ離れて配置されている。シミュレーション結果によれば、凹面鏡M1の外径 $2L=250\text{mm}$ 、凹曲面の曲率 $R=357.2\text{mm}$ 、中心厚さを 40mm としたときに、 $l=77\text{mm}$ のときに最もたわみ形状が小さいことが判明した。かかる場合、凹面鏡半径Lと距離lとの比は、 $l/L=0.616$ となる。なお、素材たるゼロデュアの物性として、ヤング率： $E=9286\text{Kg f/mm}^2$ 、ポアソン比：0.24、比重： 2.53g/cm^3 を用いて計算を行った。

【0050】このように、凹面鏡半径Lと距離lとの比を、凹面鏡の設計値に応じて適切に設定することにより、凹面鏡M1のたわみを最小とすることができ、それにより修正研磨時の加工量を減少させてスループットを向上させることができる。

【0051】図6は、凹面鏡を、第3の実施の形態にかかる保持装置により支持した状態を示す図であり、図6(a)はその上面図であり、図6(b)は、図6(a)の凹面鏡及びかかる保持装置をVIB-VIB線に沿って切断して得られた図である。なお、第1の実施の形態と同一な部分には同一符号を付し、詳細な説明を省略する。

【0052】図6に示す第3の実施の形態が、上述の実施の形態と大きく異なる点は、凹面鏡M1の支持点の数にある。本来支持点の数は多いほど、支持される物体のたわみは少なくなるが、剛的に支持する場合物理的に安定するのは3点支持であるため、それ以上支持点を増やそうとする場合には、残りの支持点を弾性支持としなく

てはならない。しかるに、例えばばねやゴムで凹面鏡を支持すると経時劣化により、支持力が変化してしまう。それにより凹面鏡のたわみが変化し、反射面の形状が最適でなくなってしまう恐れがある。また、空気圧等を用いて支持することも考えられるが、大気圧変化等に応じて微妙に圧力を変える必要があり、高度な制御機構が必要となる。第3の実施の態様によれば、かかる問題を解決しつつ3点を超える多点支持を可能とすることができる。

【0053】図6に示す第3の実施の態様においては、支持台240aの下方フランジ部242には、光軸から等距離でかつ等角度間隔即ち 120° 離れて3つの固定支持部244を形成している。更に、下方フランジ部242は、光軸から等距離でかつ固定支持部242の間に3つの孔245を形成している。また、下方フランジ部242の下面において、各孔245の近傍に支持部材150が配置されている。即ち、反射鏡M1は、支持部材としての固定支持部244と、押圧機構としての後述する円筒部材156とにより6点で支持されているのである。

【0054】図7は、下方フランジ部242に取り付けた調整機構としての支持部材150を示す図であり、図7(a)はその正面図であり、図7(b)は、図7(a)の支持部材150をVIB-VIB線に沿って切断して得られた図であり、図7(c)は、図7(b)の支持部材150を矢印VIC方向に見た図である。

【0055】図7において、断面U字形のホルダ151が、2本のボルト152により下方フランジ部242の下面に固定されている。ホルダ151は、その両脚を水平方向に貫通する孔151aを形成している。かかる孔151aにはシャフト153が挿入されている。シャフト153は、ホルダ151内を横切っている伝達アーム154に形成された孔154aを貫通している。従って、伝達アーム154は、シャフト153を支点とし、図7(b)において時計回りあるいは反時計回りに、ホルダ151に当たるまで回転自在となっている。

【0056】伝達アーム154の図7(b)左端上面には、押圧部材としての棒部材155がねじ込まれて鉛直方向上方に延びて孔245を貫通しており、棒部材155の球状の上端は、円筒部材156を介して凹面鏡M1の裏面M1cに当たった状態で接触している。光軸から円筒部材156の中心までの距離は、光軸から固定支持部242までの距離に等しくなっている。なお、円筒部材156の内面には円錐面156aが形成されており、円筒部材156の上縁には面取りが施されている。従って上述した実施の形態と同様に、円筒部材156は凹面鏡M1の裏面M1cに応じて傾き、また裏面M1cとの相対移動を可能としている。

【0057】一方、伝達アーム154の図7(b)右端

には、棒状のねじ部材157がねじ込まれて水平方向に延びている。ねじ部材157の先端には雄ねじ157aが形成されている。一方、中空円筒状の重り158における図7(b)右端には雌ねじ158aが形成されており、かかるねじ同士を結合することによって重り158はねじ部材157に取り付けられている。重り158の図7(b)左端外周には雌ねじ158bがねじ部材157に向かって形成されており、ここにボルト(不図示)をねじ込むことにより重り158のロックができるようになってい

【0058】重り158をねじ部材157の回りに回転させれば、ねじピッチに応じて重り158はねじ部材157に対して軸線方向に変位し、支点たるシャフト153から重り158の重心までの距離即ちレバー比が変わるため、それにより棒部材155から円筒部材156を介して凹面鏡M1の裏面M1cに伝達される支持力を調整することができる。かかる支持力は、6点支持の場合凹面鏡M1の重量の1/6とすれば、そのたわみ量が最も少なくなる。例えば、凹面鏡M1が3点支持される場合に比べ、6点支持することにより、そのたわみ量を単純計算で約1/10と減少させることができる。

【0059】一方、棒部材155から凹面鏡M1に伝達される支持力は、ばねや空気圧等による支持態様に比べ、経時の変化がなく長期間安定し微調整も不要である。たとえ、棒部材155や円筒部材156にヘタリが生じ、鉛直方向長さが短縮するようなことがあっても、重り158の重量とレバー比が一定であるので、棒部材155からの凹面鏡M1の支持力は常に一定となる。なお、レバー比は大きくすればするほど重りの重量を減らすことができ、設計上有利となるが、鉛直方向に振動による加速度を受ける恐れがある場合、レバー比は1にする

と好ましい。【0060】かかる6点支持による支持態様は、例えばクッション等を用いて凹面鏡M1の裏面を支持する場合よりも一面において優れている。即ち、クッション等を用いれば、凹面鏡M1を全面で支持できるが、経時劣化等により凹面鏡の光軸方向位置に変化が生じてしまう恐れがあるからである。なお、たわみ量を最も少なくするには、光軸から凹面鏡M1の外周までの距離の約0.6倍の距離だけ、光軸から離して支持点を配置することが望ましいが、3点支持に比べてたわみ量が減少することから、例えば支持点を凹面鏡M1の外周近傍に配置しても良い。また、支持部材150を用いた非固定支持は、3点にこだわる必要がなく、それ以上設けてももちろん良い。

【0061】図8は、凹面鏡を、第4の実施の形態にかかる保持装置により支持した状態を示す図であり、図8(a)はその上面図であり、図8(b)は、図8(a)の凹面鏡及びかかる保持装置をVIIIB-VIIIB線に沿って切断して得られた図である。なお、第3の実

施の形態と同一な部分には同一符号を付し、詳細な説明を省略する。

【0062】図8に示す第4の実施の形態が、第3の実施の形態と大きく異なるのは、固定支持部244の代わりに、図3の支持部材50が設けられている点にある。即ち、支持部材50の上方部52(図4)は、凹面鏡M1の裏面M1cに応じて傾くことができ、また裏面M1cとの相対移動も可能となっている。

【0063】図9は、凹面鏡を、第5の実施の形態にかかる保持装置により支持した状態を示す図であり、図9(a)はその上面図であり、図9(b)は、図9(a)の凹面鏡及びかかる保持装置をIXB-IXB線に沿って切断して得られた図である。なお、第4の実施の形態と同一な部分には同一符号を付し、詳細な説明を省略する。

【0064】図9に示す第5の実施の形態が、第4の実施の形態と大きく異なるのは、支持部材の棒部材の先端に、円筒部材156の代わりに、磁石片256a、256bとを備えた永久磁石セット256を設けた点にある。即ち、支持部材250の棒部材255の上端に円板上の磁石片256bを固定し、一方凹面鏡M1の裏面M1cには、同様に円板状の磁石片256aを、同極(例えばN極)を対向させるようにして取り付けている。

【0065】図8に示す第4の実施の形態においては、円筒部材156と凹面鏡M1の裏面M1cとが常時接触しているため、温度変化による熱膨張の差が生じたときに、凹面鏡M1は、円筒部材との間に生じる摩擦力に基づき水平方向に力を受けて変形する恐れがある。

【0066】これに対し、図9に示す第5の実施の形態によれば、棒部材255と凹面鏡M1の裏面M1cとの間には、磁石セット256の反発力が作用しているため、たとえ熱膨張の差が生じたとしても、棒部材255から凹面鏡M1には純粋に鉛直方向の力のみが伝達され、もって凹面鏡M1の変形を防止することができる。なお、磁石片256aは、凹面鏡M1の裏面M1cに、硬化時に収縮力の比較的低いシリコン系接着剤を用いて接着するのが好ましい。しかしながら、エポキシ系接着剤は接着力が高いため、接着面積が小さい等の場合にはこれを用いることができる。

【0067】なお、本実施の形態においては、投影露光装置の反射屈折光学系に用いる凹面鏡の保持装置に関して説明してきたが、本発明はこれに限定されず、例えば高精度な反射光学系を要求される反射望遠鏡や様々な光学装置に適用される。

【0068】

【発明の効果】以上述べたように、本願発明の反射光学部材を保持する保持装置によれば、支持機構の支持点は、反射面の中心から反射光学部材の外周の少なくとも0.6倍の距離離れた円周上の位置にあるので、反射光学部材のたわみを幾何学上小さく抑えることができ、そ

れにより例えば反射光学部材の加工時における修正量を小さくすることができる。一方かかる支持点は、円周上に等間隔に配置されているので、反射光学部材のたわみを点対称なものとし、それによりたわみの非対称性（アス成分）を減らし、均一性を向上させることができる。

【0069】更に、本願発明の反射光学部材を支持する支持台を有する保持装置によれば、物理的に最も安定した支持が可能な3点支持により反射光学部材の裏面を例えば固定的に支持し、かつその他の支持点を非固定とすることにより、反射光学部材を安定した状態で指示することができる。また、かかる非固定の支持点の押圧力を調整機構により調整することにより、固定支持点と同様の押圧力とすることができ、それにより各支持点における反射光学部材のたわみを同量とすることができ、もってたわみをより小さく押さえることができる。

【0070】また、本願発明のマスクに形成されたパターン像を感光基板上に露光する露光装置によれば、反射光学部材の支持機構の支持点は、反射面の中心から反射光学部材の外周の少なくとも0.6倍の距離離れた円周上の位置にあるので、反射光学部材のたわみを幾何学上小さく抑えることができ、それにより例えば反射光学部材の加工時における修正量を小さくすることができる。一方かかる支持点は、円周上に等間隔に配置されているので、反射光学部材のたわみを点対称なものとし、それによりたわみの非対称性（アス成分）を減らし、均一性を向上させることができる。

【0071】本願発明のマスクに形成されたパターン像を感光基板上に露光する露光装置によれば、物理的に最も安定した支持が可能な3点支持により反射光学部材の裏面を例えば固定的に支持し、かつその他の支持点を非固定とすることにより、反射光学部材を安定した状態で指示することができる。また、かかる非固定の支持点の押圧力を調整機構により調整することにより、固定支持点と同様の押圧力とすることができ、それにより各支持点における反射光学部材のたわみを同量とすることができ、もってたわみをより小さく押さえることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態に係る投影露光装置10の概略構成を示す図である。

【図2】図1の投影光学系PLを拡大して示す図である。

【図3】凹面鏡を、第1の実施の形態にかかる保持装置により支持した状態を示す図であり、図3(a)はその上面図であり、図3(b)は、図3(a)の凹面鏡及びかかる保持装置をIIB-IIB線に沿って切断して得られた図である。

【図4】図3の矢印IVに示す部分を拡大して示した図

である。

【図5】凹面鏡を、第2の実施の形態にかかる保持装置により支持した状態を示す図であり、図5(a)はその上面図であり、図5(b)は、図5(a)の凹面鏡及びかかる保持装置をVB-VB線に沿って切断して得られた図である。

【図6】凹面鏡を、第3の実施の形態にかかる保持装置により支持した状態を示す図であり、図6(a)はその上面図であり、図6(b)は、図6(a)の凹面鏡及びかかる保持装置をVIB-VIB線に沿って切断して得られた図である。

【図7】下方フランジ部242に取り付けた支持部材150を示す図であり、図7(a)はその正面図であり、図7(b)は、図7(a)の支持部材150をVIB-VIB線に沿って切断して得られた図であり、図7(c)は、図7(b)の支持部材を矢印VIC方向に見た図である。

【図8】凹面鏡を、第4の実施の形態にかかる保持装置により支持した状態を示す図であり、図8(a)はその上面図であり、図8(b)は、図8(a)の凹面鏡及びかかる保持装置をVIB-VIB線に沿って切断して得られた図である。

【図9】凹面鏡を、第5の実施の形態にかかる保持装置により支持した状態を示す図であり、図9(a)はその上面図であり、図9(b)は、図9(a)の凹面鏡及びかかる保持装置をIXB-IXB線に沿って切断して得られた図である。

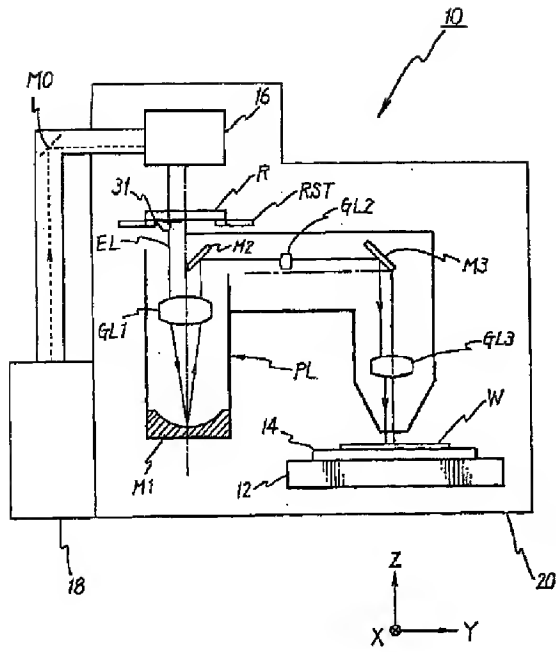
【図10】凹面鏡を、従来技術による支持棒により支持した状態を示す図であり、図10(a)はその上面図であり、図10(b)は、図10(a)の凹面鏡及び支持棒をXB-XB線に沿って切断して得られた図である。

【図11】凹面鏡を、従来技術である図10に示すものと異なる形状の支持棒により支持した状態を示す図であり、図11(a)はその上面図であり、図11(b)は、図11(a)の凹面鏡及びかかる支持棒をXIB-XIB線に沿って切断して得られた図である。

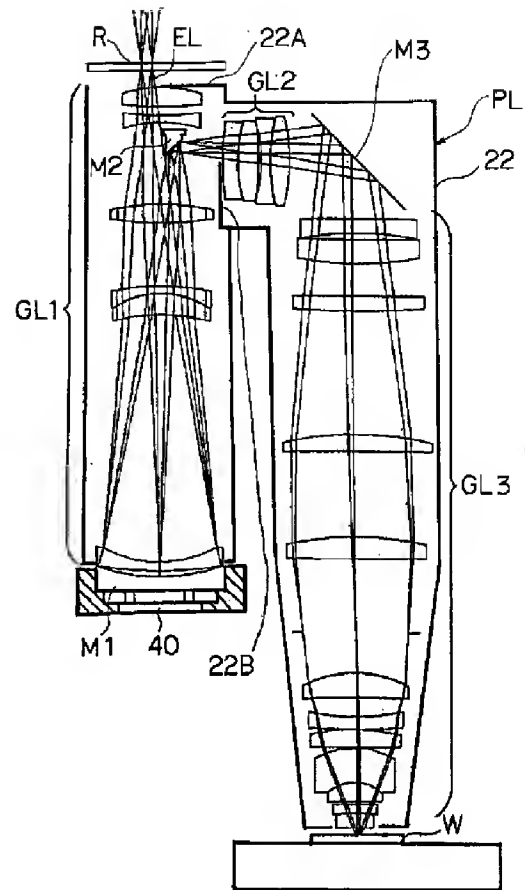
【符号の説明】

10.....露光装置
40.....保持装置
40a.....支持台
50, 150, 250.....支持部材
154.....伝達アーム
155.....棒状部材
156.....円筒部材
158.....重り
256.....永久磁石セット
PL.....反射屈折光学系
M1.....凹面鏡

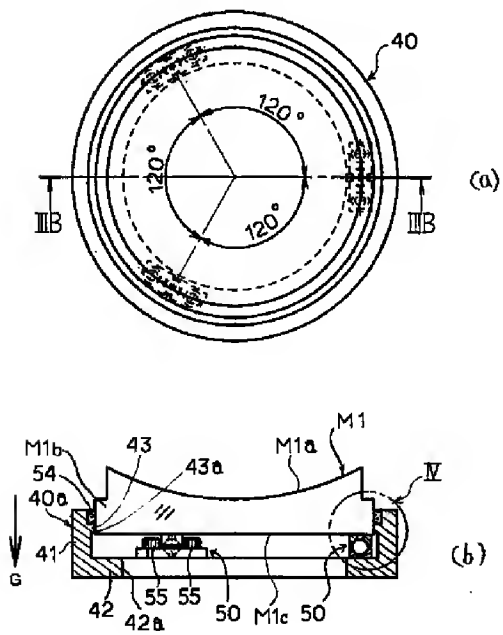
【図1】



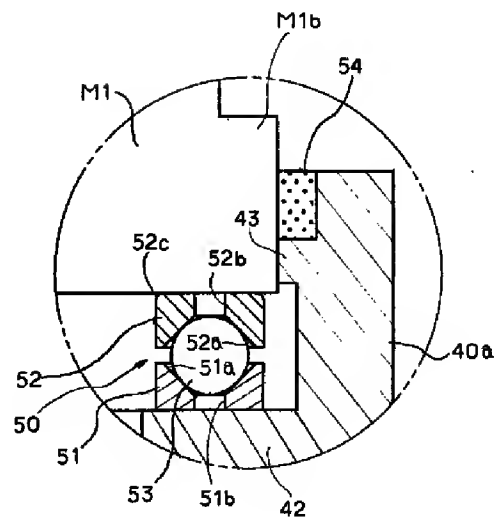
【図2】



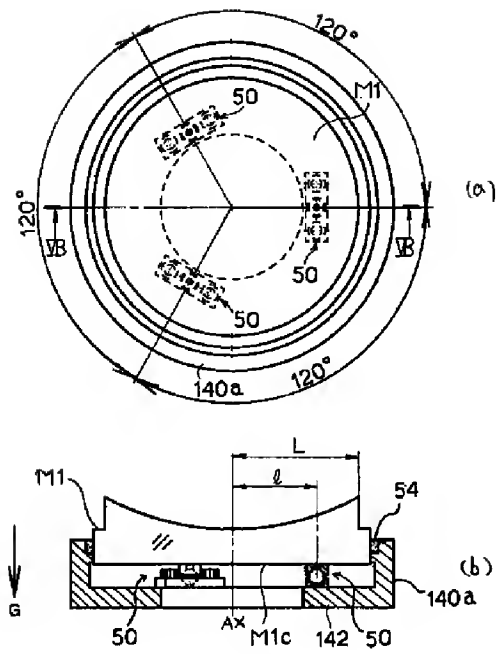
【図3】



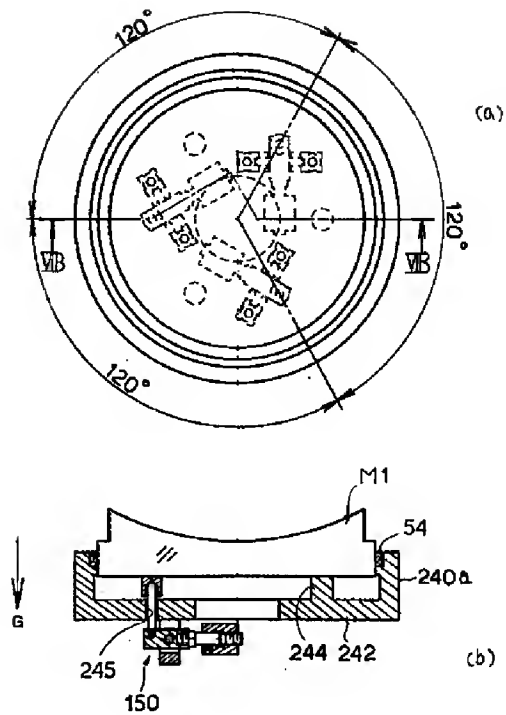
【図4】



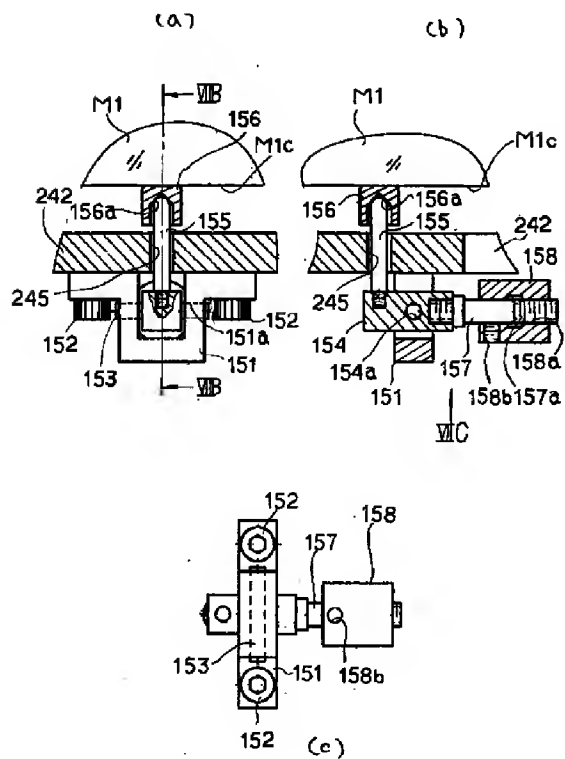
【図5】



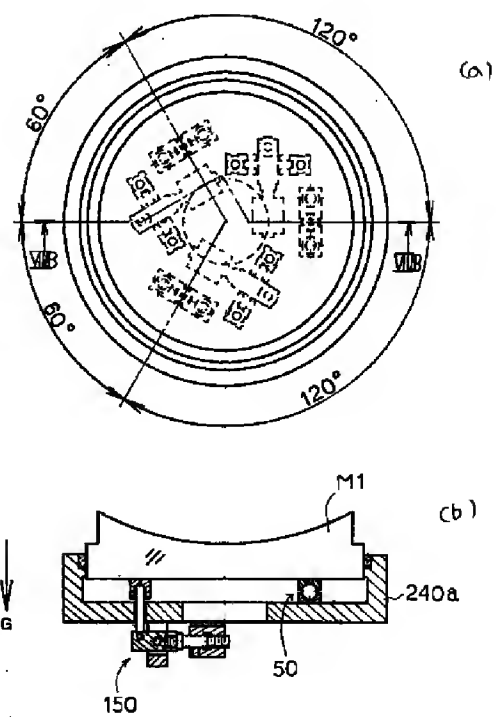
【図6】



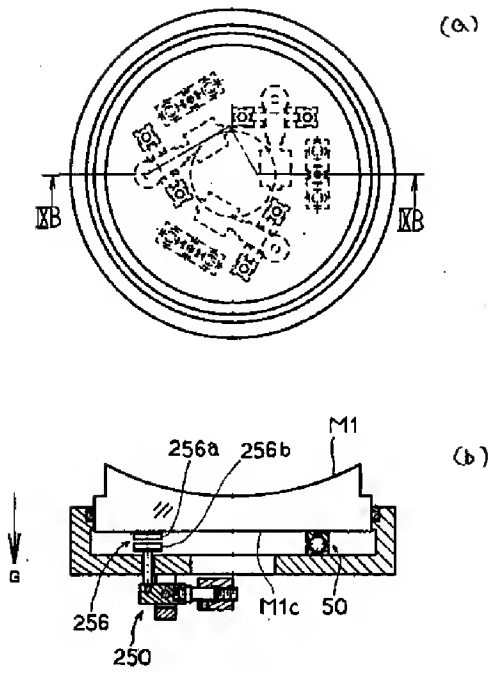
【図7】



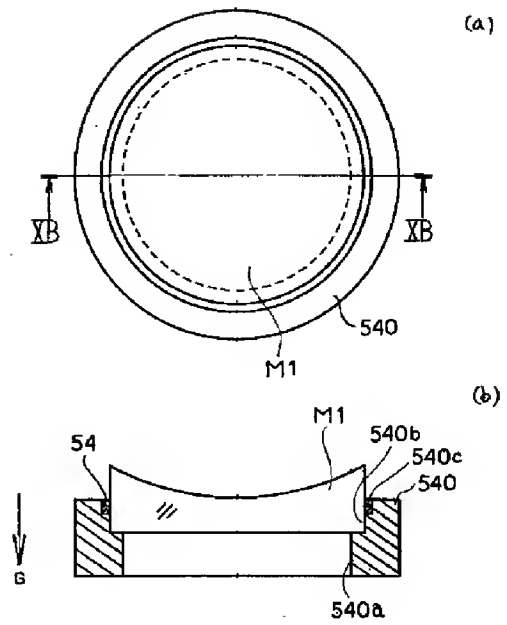
【図8】



【図9】



【図10】



【図11】

